

학내 실험실 공기오염도를 알아본다

염종수 박종석 강주혁

이번 조사는 서울대학교 중앙도서관과 이공계(미술대학 포함)실험실 137개 실험실을 대상으로 실험실내의 공기오염 발생원과 오염물질 그리고 학내 실험실 공기질의 현황을 파악하기 위해 2007년 5월 8일(화)~2007년 12월 21일(금)까지 실험실 공기를 채취하여 실내공기에 영향을 미치는 미세먼지(PM10), 포름알데히드(HCHO) 및 휘발성유기화합물(VOCs) 등의 3가지 항목을 측정하여 실시하였다. 참고로 여기에 옮긴 글은 이번에 제출된 서울대학교 공기오염도 보고서를 간략하게 요약한 내용이다.

제1장 조사 개요

1-1. 조사 배경 및 목적

최근 실험실을 포함한 실내환경 문제 중에서 공기 질에 대한 관심은 현대인들의 실내에서의 활동 증가와 환기 부족 등으로 실내공기는 오염이 심화되어 신종 질병이 부각되면서 실내공기의 적정관리에 대한 사회적 관심과 요구가 급증하고 있다. 따라서 이에 대한 문제를 해결하기 위하여 체계적인 오염도 조사와 실내공기오염도 발생원의 규명을 위한 근본대책의 수립이 필요하다

우리 환경안전원에서는 1998년 이공계 122개 실험실을 시작으로 매년 실험실안전실태를 점검하고 있으며 그 결과 실험실의 안전 환경은 점차 개선되고 있으나 여전히 많은 위험요소들이 실험실 곳곳에 산재되어 있었다.

금년부터 연구자의 건강과 안전의 확보, 실험실 안전사고의 예방 그리고 쾌적한 실험실 환경 구축을 위해 국내대학 처음으로 실험실특성별로 분류하여 실험실내 공기오염도조사를 실시하게 되었다.

이러한 조사를 통해 서울대학교 이공계(미대포함)

실험실내 공기질을 파악하여 실험실내 환경을 진단하고 화학물질에 대한 위험성 정보와 그에 따른 개선방안 제시와 쾌적한 실험실환경 구축을 위한 기반을 마련하고, 관련 법령에 따른 실내공기질 기준과 비교하여 연구원의 건강증진을 위한 보건상의 대책마련에 기초 자료가 되었으면 한다.

1-2. 조사 기간

조사는 환경안전원에서 2007. 5. 8(화)~7. 10(화)에 전반기 (36개) 실험실과 2007. 10. 2(화)~12. 21(금)에 후반기 (101개)로 총 137개 실험실 대상으로 실시하였다. 조사 시간은 연구·실험실내 연구 활동이 가장 활발한 시간인 오후 1시부터 오후 6시까지 측정하였다.

1-3. 조사 대상

실험실의 실내오염 농도를 측정하기 위하여 대상 연구·실험은 [표 1-1]에서와 같이 서울대 실험실 특성별(A, B, C, D)로 분류된 1,346여 개 중에서 임의로 약10%를 선정된 중앙도서관 열람실과 이공계(미대포함) 15개 기관 137개 연구·실험실을 대상으로 조사하였다[표 1-1~1-2, 그림 1-1~1-4].

[표 1-1] 기관별 조사 대상 연구·실험실

기 관	총 실험실 수	조사 실험실 수	A	B	C	D
자연대	194	26	6	12	6	2
공과대	515	40	3	18	11	8
농생대	143	14	5	7	-	2
미술대	27	2	1	1	-	-
사범대	23	-	-	-	-	-
생활대	27	5	1	2	1	1
수의대	58	8	6	2	-	-
약학대	50	12	5	6	1	-
의과대	126	14	9	5	-	-
치과대	24	4	2	2	-	-
보건대	3	1	1	-	-	-
환경대	2	1	-	1	-	-
기기원	27	2	1	1	-	-
반공연	41	1	-	-	1	-
소재연	32	-	-	-	-	-
유공연	15	-	-	-	-	-
천연물	39	3	1	1	1	-
중앙도서관 열람실	-	4	-	-	-	4
합 계	1,346	137	41	58	21	17

※ 조사실험실수 = A + B + C

[표 1-2] 실험실험실 특성별 분류

분 류 명	방 법
A	미생물 및 동물, 방사선동위원소 물질 등을 사용하는 실험실 (41개)
B	화학약품 등을 사용하는 실험실(58개)
C	기계·전기설비 등을 사용하는 실험실(21개)
D	실험·실습을 수행하지 않는 설계·컴퓨터 관련 등의 실험실 (17개)



[그림 1-1] A 실험실



[그림 1-2] B 실험실



[그림 1-3] C 실험실



[그림 1-4] D 실험실

제2장 측정 결과

2-1. 온도와 습도

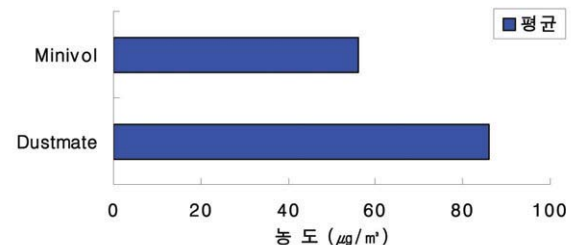
측정 기간 중 5월~7월 실험실별 온도와 습도의 측정 결과 온도는 23~26℃를 분포로 나타냈으며 이때 상대습도는 40~58%의 분포를 나타냈다. 10월~12월 실험실별 온도와 습도의 측정 결과 각각 21~23℃를 분포로 나타냈으며 이때 상대습도는 28~34%의 분포를 나타냈다[표 2-1].

[표 2-1] 실험실험실 특성별 온도와 습도(n=2)

기간	실험실별	A	B	C	D
'07년 5월~7월	온도(℃)	26	24	23	26
	습도(%)	40	51	54	58
'07년 10월~12월	온도(℃)	22	21	22	23
	습도(%)	28	34	32	30

2-2. 미세먼지(PM10)

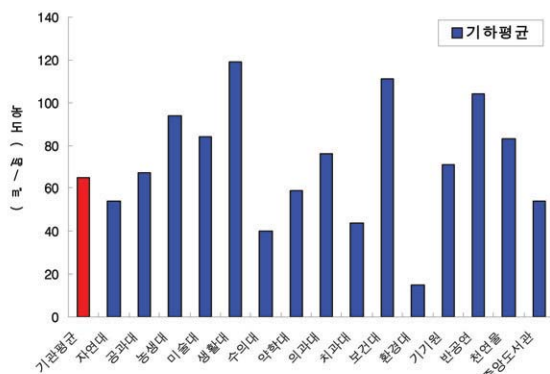
광산란법(Dust Mate)이 소용량공기포집법(Mini vol.)에 비해 평균 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 정도 높게 나타냈다[그림 4-1]. 이런 결과를 참고로 하여 이번 조사에는 실험실 내에서 발생하는 미세먼지(PM10)농도를 광산란법(Dust Mate)로 측정하였다.



[그림 4-1] Mini Volume과 Dust Mate 비교(PM10)

가) 전체 기관 미세먼지 농도(PM10)

조사 결과는 아래 [그림 2-2], [표 2-2]와 같다. 전체 기관 미세먼지(PM10) 기하평균농도는 $65.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타났고, 조사대상 실험실 중에서 137개 실험실에서 미세먼지 농도는 126개(92%) 실험실이 노동부 산업안전보건법의 사무실·작업장실내공기질기준치인 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 나타났으며, 11개(8%) 실험실은 기준치를 1~2.6배($151 \sim 388 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과한 것으로 조사되었다.



[그림 2-2] 전체 기관 미세먼지 평균농도(PM10)

미세먼지가 기준치를 초과한 실험실은 공사 중이거나 황사현상 등 외부에서 유입된 공기에 의해서 오염된 것으로 조사되었으며, 대부분의 실험실에서 기준치 이하인 것으로 측정되었다.

[표 2-2] 전체 기관 미세먼지 평균농도(PM10) 측정 결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	기하평균	기 관	기하평균
기관평균	65.03	의과대	75.69
자연대	53.82	치과대	44.45
공과대	66.62	보건대	110.50
농생대	94.19	환경대	15.30
미술대	84.49	기기원	70.63
생활대	119.28	반공연	104.40
수의대	40.32	천연물	82.85
약학대	58.60	중앙도서관	53.59

전체기관 미세먼지(PM10) 평균농도는 $65.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이다. 생활대학의 평균농도는 $119.28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 전체기관 평균농도의 1.8배로 [그림 4-2], [표 4-2] 조사 대상

기관 중 가장 높게 나타났지만 실내공기질 기준치 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다는 낮았다. 그 원인으로는 실험실에 환기시설이 없었고, 실험실 공간에 비해 재실인원이 많았고 개인난방기기의 가동으로 인하여 실내가 몹시 건조한 사실을 들 수 있겠다. 개선사항으로는 실내공기 환기가 필요하며 특히 겨울철에 필요한 것으로 조사되었다.

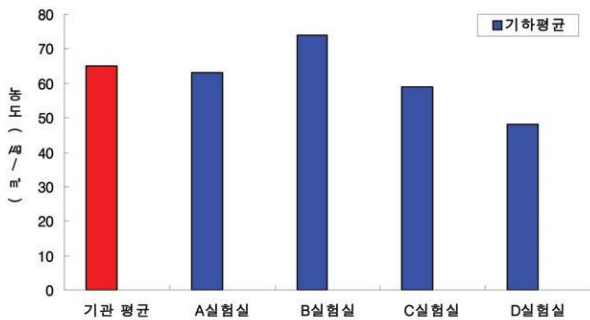
농생대의 경우 미세먼지 기하평균농도가 $94.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 나타나 전체기관 평균농도보다는 낮게 나타났다. 그러나 조사실험실 중 미생물생명공학연구실, 식물균병학연구실, 천연물화학연구실 등은 기준치를 초과하였는데 조사 시 학과 사무실 공사로 인해 발생된 먼지가 그 원인으로 생각된다. 또 일부 실험실에서는 환기가 되지 않아 환풍기 설치가 필요하였고 창문이 이중창으로 되어 있어서 환풍기를 설치할 수 없어 미세먼지 농도가 높게 나타나 대책마련이 시급한 것으로 조사되었다.

기초과학공동기기원의 경우 흑연화실에서는 $238.70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 기준치보다 높게 나타났다. 이유인 즉 조사 시 먼지를 제거하는 작업을 하고 있었다. 반도체공동연구소교육관은 창문을 열어놓아 주차장에서 먼지가 유입된 것으로 파악되었다. 또한 천연물연구소에서는 이전준비작업으로 인해 미세먼지(PM10)가 높게 측정되었다.

특히 의과대 본관은 중앙환기설비의 노후로 인해 환기설비가 가동되지 않고 있어 실험실 공기오염에 대하여 대책마련을 호소하는 실험자도 있었다. 일부 실험실에서는 자체적으로 환풍기를 설치하여 환기를 하고 있었으나 건물 전체에 대한 환기가 반드시 필요한 것으로 판단된다.

나) 실험실풍성별 미세먼지농도(PM10)

실험실풍성별 미세먼지농도(PM10)는 다음[그림 2-3], [표 2-3]에 나타나 있다. 조사대상 전체 기관 평균 농도는 $65.03 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (min 11 ~ max $388 \mu\text{g}/\text{m}^3$)이며, 측정치는 B 실험실 $73.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$, A 실험실 $63.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$, C 실험실 $58.90 \mu\text{g}/\text{m}^3$, D 실험실 $48.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다.



[그림 2-3] 실험실험특성별 미세 먼지 농도(PM10)

[표 2-3] 실험실험특성별 미세먼지농도(PM10) 측정결과(n=2)
(단위: µg/m³)

기 관	기 하 평 균
기관평균	65.03
A 실험실	65.17
B 실험실	73.58
C 실험실	58.90
D 실험실	48.26

농생대, 생활대, 자연대, 미술대 등이 포함되어 있는 B 분류 실험실이 실내기준치 농도보다는 낮았고, 기관 전체 평균농도보다는 약간 높게 나타났다. 주로 화학약품과 유기용매를 취급하는 B 분류 실험실에서 미세먼지 평균보다 높게 나타난 것은 실험실 환기가 미세먼지 농도에 중요한 영향을 미친다는 사실을 말해준다.

전체 기관에서 미세먼지 농도가 65.03 µg/m³로 산업안전보건법의 실내공기질 기준치인 150 µg/m³ 이하로 나타났으나 실험자들이 개인건강을 위해 먼지가 발생하는 실험을 할 때에는 호흡기를 보호할 수 있는 개인보호 장비를 반드시 착용하고 실험을 해야 한다. 쾌적한 실내공기를 위해서는 충분한 환기가 필수적일 뿐만 아니라 가장 경제적이고 효과적인 방법이다.

실내공기 오염도는 온도와 습도에 비례해서 그 농도가 더욱 높아지는 현상이 있기 때문에 특히 여름철에는 자연환기를 자주 시켜주는 것이 중요하다. 겨울철에는 창을 오래 열어 놓으면 에너지가 많이 소비되고 찬바람 때문에 환기를 기피할 수 있으므로 2~3시간 주기로 1~2분 정도 개방하는 것이 좋다. 실험중이나 종료 후에는 반드시 환기와 더불어 실험실 정리정돈 및 청소를 실시하여 실험실내 공기가 오염되지 않도록

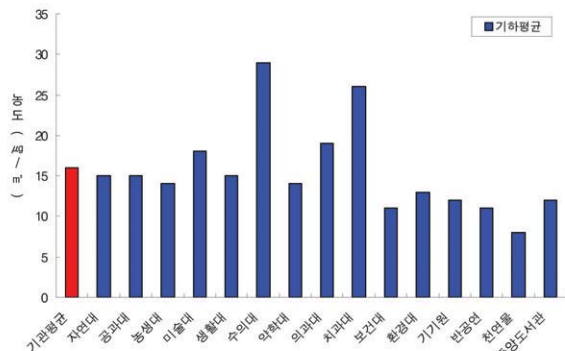
록 주의해야 한다.

서울대학교 실험실에서는 비교적 미세먼지가 높게 나타나지 않았지만 향후 환경안전원에서는 실험실 공기오염도를 신청이나 접수를 통해 계속 측정하여 실험실 환기설비의 개선이 필요하다고 판단될 경우 관계기관 등과 연계하여 실험실공기가 미세먼지나 기타 유기화합물 등에 오염되지 않도록 근본적인 환기설비 대책 방안을 마련할 수 있도록 최선을 다할 계획이다.

2-3. 포름알데히드(HCHO)

가) 전체 기관 실험실내 포름알데히드 농도

전체 기관 측정결과는 [그림 2-4], [표 2-4]와 같으며 전체기관의 평균은 15.78 µg/m³이었다. 기관별로는 수의대, 치과대, 의과대, 미술대가 각각 28.92 µg/m³, 25.55 µg/m³, 19.49 µg/m³, 17.88 µg/m³ 전체 기관 기하 평균농도보다는 높은 농도로 검출되었다.



[그림 2-4] 전체 기관 실험실내 포름알데히드 농도

[표 2-4] 전체 기관 포름알데히드(HCHO)농도 측정 결과(n= 2)
(단위: µg/m³)

기 관	기하평균	기 관	기하평균
기관평균	15.78	의과대	19.49
자연대	15.11	치과대	25.55
공과대	15.34	보건대	11.20
농생대	14.38	환경대	13.18
미술대	17.88	기기원	12.08
생활대	15.01	반공연	10.91
수의대	28.92	천연물	7.92
약학대	13.56	중앙도서관	12.46

수의대의 경우는 실내공기질 기준치보다는 낮았지만 전체기관별 평균농도보다 높았다. 이는 실험 특성상 동물실험을 많이 하고 암실의 경우 환기가 되지 않는 밀폐구조 때문인 것으로 분석된다.

치과대의 경우도 역시 실험실이 신축건물에 위치해 있었으며, 내부 기자재 등이 새로 설치된 상태였다. 또 실험실내부는 여러 구획으로 나뉘어져 많은 실험을 하고 있었고 상주 인원도 많았다. 의과대에서는 신호전달실험실과 면역학 실험실에서 전체 기관별 평균농도보다 높게 측정되었는데 이는 중앙공조장치가 작동하지 않아 환기상태가 불량한 것으로 분석된다.

공과대의 경우 음향 및 진동연구실(C 실험실)에서 $43.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 측정되었는데 이는 건물 구조상(통유리) 환기가 불량하고, 실험실 전체에 소음 차단제가 설치되어 있어 소음 차단제로부터 다량의 포름알데히드가 발생한 것으로 분석된다. 또, 제조통합자동화연구실, 휴먼인터페이스 실험실에서 각각 $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가 측정되었고, 건설기술연구실 $38.50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 항공우주비행체 설계연구실 $35.80 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 전력시스템 및 경제 연구실은 $35.10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 다른 곳에 비해 높게 측정되었다.

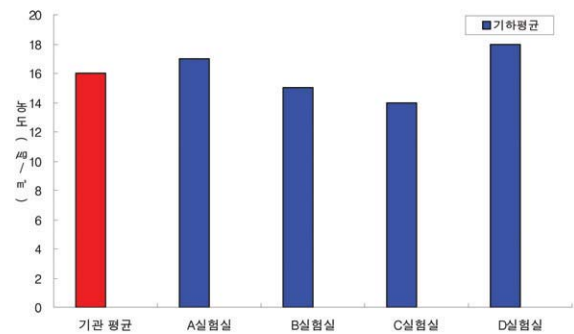
농생대의 경우는 전체 평균보다 낮게 나타났으나 조경계획 설계연구실(D 분류 실험실) $32.62 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 측정되었는데 연구실 바닥에 설치된 바닥재 등에서 포름알데히드가 발생한 것으로 분석된다. 그 외의 기관은 대학 평균보다 낮은 측정치를 보였으나 철저한 관리로 보다 나은 공기질 유지를 위해 노력해야겠다. 도서관의 경우 실험실로 약간의 차이로 측정되었다. 이와 같은 차이는 실의 크기와 환기 조건, 재질 인원에 따라 차이가 발생한 것으로 분석된다.

나) 실험실별 포름알데히드(HCHO)농도

실험실특성별 측정 결과는 <그림 2-5, 표 2-5>과 같다. 실험실특성별 평균은 $15.78 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전체적으로 비슷하게 측정되었으며, D 분류 실험실 $18.32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이 다른 실험실에 비하여 높게 측정되었다. D 분류 실험실의 경우 실험, 실습을 수행하지 않고 설계 및 컴퓨터 관련 등의 실험실로서 공부방에 가까운 실

험실들이다

D 분류 실험실이 다른 실험실에 비하여 높게 측정되었다. D 분류 실험실의 경우 실험, 실습을 수행하지 않고 설계 및 컴퓨터 관련 등의 실험실로서 공부방에 가까운 실험실들이다. 이 실험실은 다른 실험실에 비하여 전기기자재(컴퓨터, 복사기, 프린터, FAX 등)가 많이 설치되어 있었고, 후드가 설치되어 있는 비율이 적고, 환기를 환풍기에 의존하며, 서적들이 많았다. 이 실험실에서 측정된 포름알데히드는 전기기기의 회로 보호용 수지, 목재 및 책으로부터 발생한 것으로 분석된다.



[그림 2-5] 실험실특성별 포름알데히드 농도

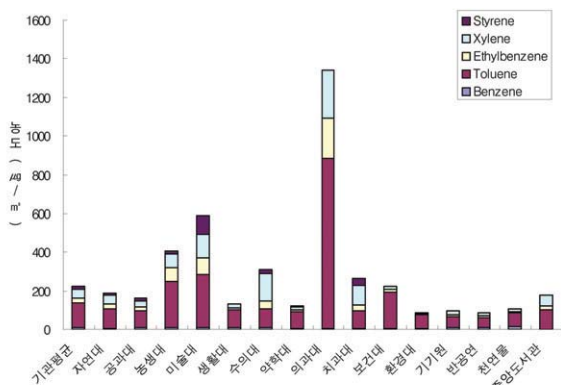
[표 2-5] 실험실특성별 포름알데히드(HCHO)농도 측정결과(n= 2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	기 하 평 균
기하평균	15.78
A 실험실	17.05
B 실험실	15.04
C 실험실	13.75
D 실험실	18.32

2-4. 휘발성유기화합물(VOCs)

가) 전체 기관 실험실내 VOCs

전체 기관 실험실내 VOCs농도는 <그림 2-6, 표 2-6>와 같이 의과대, 미술대, 농생대, 수의대, 치과대 등의 순으로 기하평균농도보다 높게 검출되었다.



[그림 2-6] 전체 기관 실험실내 VOCs 기하평균농도

[표 2-6] 전체 기관 실험실내 VOCs 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	Toluene	Xylene	Ethylbenzene	Styrene	Benzene	합 계
기하평균	128.15	45.69	28.17	13.56	7.79	223.36
자연대	98.97	41.97	29.38	10.97	5.78	187.07
공과대	87.51	31.15	19.34	14.60	8.80	161.40
농생대	241.15	74.66	66.52	12.08	10.11	404.52
미술대	270.37	123.59	87.15	94.97	11.64	587.72
생활대	92.20	17.75	10.34	-	10.30	130.59
수의대	98.10	144.92	38.97	21.5	28.20	311.71
약학대	87.38	13.43	8.58	7.02	6.08	122.49
의과대	877.80	250.11	207.60	-	6.75	1,342.26
치과대	91.29	104.19	27.08	33.45	6.99	263.00
보건대	185.81	15.28	12.94	-	7.46	221.49
환경대	70.69	5.38	4.12	-	6.44	86.63
기기원	55.70	22.29	8.51	-	10.50	97.00
반공연	53.44	18.56	8.93	-	7.95	88.88
천연물	70.83	15.66	6.05	-	13.23	105.77
중앙도서관	99.15	52.10	24.26	-	-	175.51

조사대상 기관 중 의과대 126개 실험실에서 14개 (0.11%) 실험실내 VOCs가 전체기관 기하평균농도 $223.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 6배인 $1,342.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 나타났고, 실험을 하지 않는 중앙도서관의 평균농도인 $175.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 7.7배 많은 VOCs농도가 검출되어 다른 기관보다 가장 높은 결과가 나타났다. 그 밖에 검출되는 유기화합물은 피크들의 총 면적값의 75% 이상으로 Hexane, Acetonitrile, Methylisocyanide,

Decane, Trichloroethylene Alpha-Pinene, Di-Limonene, Octane, Heptane, Ethyl-Cyclohexane, Chloroform, Methylene Chloride, 5-Methyl-2-pentanone, Ethanol, 1,2,3-Trimethylbenzene, 2,3-Dimethyloctane, Acetic acid, 2-Propanone, Ethyl Acetate, Tetrahydrofuran(THF), 1,4-Dichloro-Benzene 등이 스크린 되었다.

원인은 조사 전날에 실험실내 페인트공사와 수도공사 등으로 접착제와 신나 등의 사용으로 인하여 VOCs농도 측정치가 높게 나타났다고 사료된다. 또한 전반적으로 실험실내 환기상태가 좋지 않았다.

특히 의과대 본관은 중앙환기설비의 노후로 인해 환기설비가 가동되지 않고 있어 실험실 공기오염에 대하여 대책마련을 호소하는 실험자도 있었다. 일부 실험실에서는 자체적으로 환풍기를 설치하여 환기를 하고 있었으며 건물 전체에 대한 환기설비에 대해 점검이 필요한 것으로 판단된다.

미술대의 경우 실험실 중 유기용매를 가장 많이 사용하는 2개 실험실을 대상으로 VOCs농도를 측정한 결과 기관전체 기하평균농도 $223.16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 2.6배인 $587.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 검출되었고 실험을 하지 않는 중앙도서관의 평균농도인 $175.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 3.4배 많은 VOCs농도가 검출되었다.

이번 조사결과 미술대에서 다른 대학에 비해 높은 농도의 VOCs가 검출된 것은 조사 시 해당실험실에서 실습중인 관계로 측정결과치가 높게 나타났다, 특히 판화실기실에서는 판화수업 강의와 실기를 병행해서 실시하고 있었고, 재료와 판화웍셋 등에서 유기용매 냄새가 많이 났다.

권고사항으로 연구원들이 오염원을 최대한 줄이려는 노력과 매년 실시하는 환경안전교육에 학생들도 적극 참여와 휘발성유기화합물질의 위해성과 개인호흡보호장비 착용의 중요성을 인지하도록 하며, 실험실내 환기설비도 추가 설치하는 것이 필요하다.

농생대의 경우 전체 143개 실험실 중 14개(10%) 실험실내 VOCs농도를 측정한 결과 기관 전체평균농도

223.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.8배인 404.52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 검출되었고, 실험을 하지 않는 중앙도서관의 기하평균 농도인 175.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 2.3배 많은 VOCs농도가 검출되었다.

이번 농생대 조사에서 미생물 생물공학연구실은 Toluene농도가 가장 높게 검출되었다. 그 이유는 복도와 복도사이에 위치하여 창문과 환기시설을 설치할 수 없는 곳에 실험실이 위치하고 있었고, 연구실과 실험실도 칸막이 등으로 구분되지 않았으며 실험실내에는 다량의 화학약품과 유기용매도 보유하고 있었다. 조사 시 5층 학과사무실에서 페인트와 덕트공사 중이기 때문에 VOCs농도 측정결과에 다소의 영향을 주었을 것으로 사료된다.

권고사항으로는 연구자의 건강을 위해 실험 시 반드시 개인보호장비착용을 상시화하고, 기관차원에서 환기시설 설치가 필요하고, 별도의 화학약품저장고 설치도 요망된다.

수의대의 경우 전체 58개 실험실 중 8개(14%) 실험실내 VOCs농도를 측정한 결과 기관 전체평균농도 223.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.4배인 311.71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 검출되었고 실험을 하지 않는 중앙도서관의 평균농도인 175.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.8배 많은 VOCs가 검출되었다.

이러한 원인은 원래 창고를 개조하여 암실로 사용 중이기 때문에 환기설비도 전혀 갖추어져 있지 않았고 공간을 둘로 분리하여 한쪽에는 암실과 다른 곳은 인화성 시약저장고 및 폐수저장고로 사용 중이었다. 다른 위험요소도 많이 노출되어 있어 기관 차원에서 특별한 관리대책이 필요하다.

치과대의 경우 전체 24개 실험실 중 4개(17%) 실험실내 VOCs농도를 측정한 결과 기관전체 기하평균농도 223.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.2배인 263.00 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 높게 검출되었고 실험을 하지 않는 중앙도서관의 기하평균 농도인 175.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.5배 많은 VOCs가 검출되었다.

중앙도서관의 경우 학생의 유도인구가 많은 4개 열람실내 VOCs농도를 측정한 결과 기관 전체평균농도 223.16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 175.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다.

자연대의 경우 전체 194개 실험실 중 26개(13%) 실험실내 VOCs농도 측정결과 기하평균농도는 187.07 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 인데, 전체 기관 기하평균농도보다는 낮게 검출되었다.

이번 조사시 해양분자미생물생태학실험실, 초분자나노재료실험실은 자연대에서 높은 VOCs농도가 검출되었는데, 이유는 연구실과 실험실은 구분되어 있고 후드 2대 가동과 창문도 개방되어 있는데도 불구하고 주로 동물과 천연물 추출실험을 진행하는 관계로 실험실내에서 다량의 유기용매를 보유해 검출농도가 높게 나타났다고 생각된다.

다음으로 높게 나타난 합성 및 의약화학실험실은 창문은 미 개방하고 후드를 9대 가동 중에도 불구하고 실험실내에 다량의 실험폐수 및 유기용매를 보유하고 있어 측정 결과가 높게 나타났다.

권고사항으로 실험시 반드시 개인호흡보호장비를 착용하고 실험에 임해야 하고, 다량의 실험폐수 및 유기용매를 적정처리와 필요한 최소한 양만 적재하여 사용하도록 화학약품관리에 주의가 요망되고 연구 활동종사자 모두가 실내오염원을 줄이려는 노력이 필요하다.

공과대의 경우 전체 515개 실험실 중 40개(0.8%) 실험실내 VOCs 기하평균농도는 161.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전체 기관 평균농도보다는 낮게 검출되었다.

조사 시 유기나노재료합성실은 연구실과 실험실은 구분되어 있고 후드 4대가 가동되고 THF + Hexane으로 크로마토그래피 실험 중이었으며, 실험실내에는 다량의 유기용매를 보유하고 있었다.

그 다음으로 고분자화학연구실에서도 실험실과 연구실이 구분되어 있고, 실험 중에 창문 2개 개방, 후드 4대 가동 중인데도 불구하고 높게 검출되었다. 원인은 실험실내에 다량의 유기용매와 실험폐수를 보관하고 있었기 때문이다. 권고사항으로 적절한 폐수처리와 유기용매를 필요한 최소량만 사용할 수 있도록 약품관리에 주의가 요망된다.

생활대의 경우 전체 27개 실험실 중에서 5개(19%) 실험실내 VOCs 기하평균농도는 130.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 전체 기관 기하평균농도보다는 낮게 검출되었다.

조사 시 식품과학실험실에서는 실험중이고 연구실과 실험실이 분리되고 환풍기도 가동하고 있었으나, 선반에는 화학약품을 과다 보유하고 있고 유기용매도 사용하고 있어 노출된 화학약품관리에 주의를 요망한다.

약학대의 경우 전체 50개 실험실 중에서 12개(24%) 실험실내 VOCs 기하평균농도는 122.49 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 검출되었다.

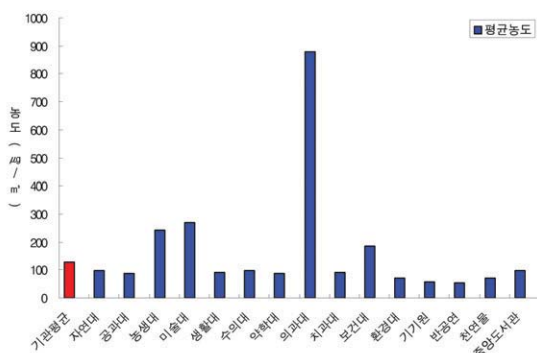
그 원인은 약학대 특성상 추출시험을 많이 하는 관계로 유기용매 사용량이 많았고, 또한 건물도 낡고 오래되고, 실험실 장소의 협소와 복도에 준비하게 늘어선 실험장비 등 모든 조건이 열악했다. 또한, 조사 시에 대부분의 연구실에서는 실험 중이었고 환풍기 와 후드를 가동하고 있었지만 실험실 공간이 협소하고, 사용하는 유기용매와 약품이 많았다.

권고사항으로는 학교차원에서는 건물 리모델링이 필요로 하고 실험실에서 최소의 적정 화학약품관리가 요구된다. 약학대는 VOCs 농도는 높았으나 우리가 조사한 측정대상 5개 유기화합물질 중에서 Toluene을 제외하고 다른 물질의 농도는 대체로 낮았다.

(1) 전체 기관 VOCs 중 발암성 위험화학물질(5개 항목) 기하평균농도

(가) 전체 기관 실험실내 VOCs

전체 기관 실험실내 VOCs농도는 아래 [그림 2-7], [표 2-7]와 같다.



[그림 2-7] 전체 기관 실험실내 Toluene 평균농도

[표 2-7] 전체 기관 실험실내 Toluene 평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	Toluene	기 관	Toluene
기하평균	128.15	의과대	877.80
자연대	98.97	치과대	91.29
공과대	87.51	보건대	185.81
농생대	241.15	환경대	70.69
미술대	270.37	기기원	55.70
생활대	92.20	반공연	53.44
수의대	98.10	천연물	70.83
약학대	87.38	중앙도서관	99.15

이번 조사에서 의과대가 조사대상 기관의 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 6.9배인 877.80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었다. 특히, 임상약리학실, 분자유전자실험실, 환경성발암기전연구실, 세포생리학실, 상피세포분화실험실, 유전학실험실 등에서 기하평균농도보다 18.1~40.6배까지 높게 검출되었다.

미술대의 경우 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.1배인 270.37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 판화실기실, 금속공예대학원 실기실에서 1.3~3.5배까지 높게 검출되었다. 특히 판화실기실에서는 판화수업 강의와 실기를 병행해서 실시하고 있었고, 재료와 판화웁셋에서 유기용매 냄새가 매우 심하였다.

농생대의 경우 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.9배인 241.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 미생물생물공학연구실, 식물균병학연구실, 작물유전체연구실, 천연물화학연구실, 조경계획설계연구실에서 2.2~22.7배까지 높게 검출되었다.

보건대의 경우 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.5배인 185.81 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 중앙 실험실에서 약간 높게 검출되었다.

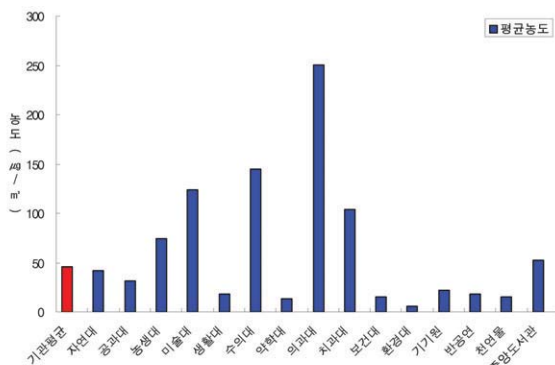
중앙도서관의 경우 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 99.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 검출되었다. 3층 3B열람실에서는 기관평균농도보다 2.7배인 346.31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 높게 검출되었다.

(나) 전체 기관 Xylene 기하평균농도

이번 조사에서 의과대의 경우 조사대상 기관의

VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 5.4배인 250.11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 4.8배 높게 나타났다. 조사대상 실험실 14개 중 79%인 11개 실험실에서 기하평균 농도보다 1.7~31.4배까지 높게 검출되었다.

전체 기관 VOCs 중 Xylene 기하평균농도는 [그림 2-8], [표 2-8]과 같다



[그림 2-8] 전체 기관 Xylene 기하평균농도

[표 2-8] 전체 기관 Xylene 기하평균농도 측정결과(n=2)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	Xylene	기 관	Xylene
기하평균	45.69	의과대	250.11
자연대	41.97	치과대	104.19
공과대	31.15	보건대	15.26
농생대	74.66	환경대	5.38
미술대	123.59	기기원	22.29
생활대	17.75	반공연	18.56
수의대	144.92	천연물	15.66
약학대	13.43	중앙도서관	52.10

수의대의 경우 VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 3.2배인 144.92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 암실에서는 평균농도보다 221배인 10,101.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 까지 상당히 높게 검출되었고, 대부분의 실험실에서 전체 기관 평균농도보다 1.3~221배 높게 검출되었다. 특히 암실은 위험요소가 많이 노출되어 있어 기관 차원에서 특별한 관리대책이 필요하다.

미술대의 경우 VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.7배인 123.59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 관화실기실에서는 전체 기관 평균농도보다 11.3배가 많은 514.51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 검출되었다.

치과대의 경우 VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.3배인 104.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 조사대상 실험실 4개 모두에서 기하평균 농도보다 1.3~3.7배 높게 검출되었다.

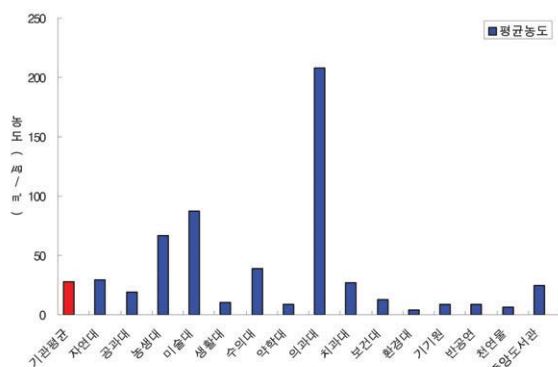
농생대의 경우 VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.3배인 104.19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었다. 조사대상 14개 실험실 중 50%인 7개에서 기하평균농도보다 1.2~18배까지 높게 검출되었다.

중앙도서관의 경우 VOCs 중 Xylene의 전체 기관 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.14배인 52.10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약간 높게 검출되었다.

휘발성유기화합물질 중 Xylene의 TWA(Time Weighted Average) 노출기준은 435 mg/m^3 이하로 규정되어 있다(노동부 산업안전보건법). 조사대상 137개 실험실 Xylene 측정치(3.40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ~ 10,101.83 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)는 모두 기준치 이하로 검출되었다. Xylene의 유기화합물질의 장시간 동안 많이 노출하면 호흡기도, 눈, 피부를 자극하고 흡인위험이 있고 중추신경계통 등을 억제하는 부작용이 발생할 위험이 있으므로 실험 시 반드시 개인호흡보호장비를 구비하여 착용하고 실험에 임하여야 하며 건강 관리에 주의가 요망된다(최고노출기준이라 함은 근로자가 1일 작업시간동안 잠시라도 노출되어서는 아니 되는 기준).

(다) 전체 기관 Ethylbenzene 기하평균농도

이번 조사에서 의과대가 조사대상 기관의 VOCs 중 Ethylbenzene의 전체 기관 기하평균농도 28.17 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 7.4배인 207.60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 8.6배 높게 나타났다. 조사대상 14개 실험실 중 11개(79%) 실험실에서 기관별 전체평균 농도보다 1.9~73.1배까지 높게 검출되었다. 전체 기관 VOCs 중 Ethylbenzene 기하평균농도는 [그림 2-9], [표 2-9]과 같다.



[그림 2-9] 전체 기관 Ethylbenzene 기하평균농도

[표 2-9] 전체 기관 Ethylbenzene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	Ethylbenzene	기 관	Ethylbenzene
기하평균	28.17	의과대	207.60
자연대	29.38	치과대	27.08
공과대	19.34	보건대	12.94
농생대	66.52	환경대	4.12
미술대	87.15	기기원	8.51
생활대	10.34	반공연	8.93
수의대	38.97	천연물	6.05
약학대	8.58	중앙도서관	24.26

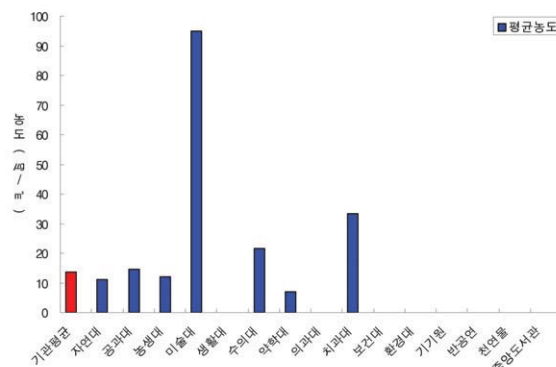
미술대의 경우 VOCs 중 Ethylbenzene의 전체 기관 기하평균농도 $28.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 3.1배인 $87.15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 3.6배 높게 나타났다. 관화실기실에서는 전체 기관 평균농도보다 9.6배가 많은 $270.19 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 검출되었다.

농생대의 경우 VOCs 중 Ethylbenzene의 전체 기관 기하평균농도 $28.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.4배인 $66.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 2.7배 높게 나타났다. 조사대상 14개 실험실 중 57%인 8개에서 기관별 전체 평균농도보다 1.1~59.7배까지 높게 검출되었다.

(라) 전체 기관 Styrene 기하평균농도

이번 조사에서 미술대가 조사대상 기관의 VOCs 중 Styrene의 전체 기관 기하평균농도 $13.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 7.0배인 $94.97 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 94.97배 높게 나타났다. 전체 기관 VOCs

중 Styrene 기하평균농도는 아래 [그림 2-10, [표 2-10]와 같다.



[그림 2-10] 전체 기관 Styrene 기하평균농도

[표 2-10] 전체 기관 Styrene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

기 관	Styrene	기 관	Styrene
기하평균	13.56	의과대	-
자연대	10.97	치과대	33.45
공과대	14.60	보건대	-
농생대	12.08	환경대	-
미술대	94.97	기기원	-
생활대	-	반공연	-
수의대	21.52	천연물	-
약학대	7.02	중앙도서관	-

치과대의 경우 VOCs 중 Styrene의 전체 기관 기하평균농도 $13.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 2.5배인 $33.45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 검출되었으며, 중앙도서관보다는 33.45배 높게 나타났다. 공동실험실, 분자생체계면연구실에서는 전체 기관 평균농도보다 약간 높게 검출되었다.

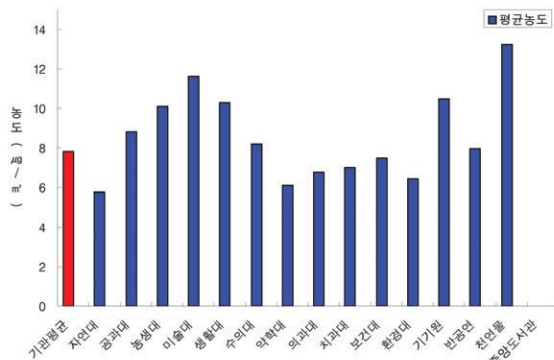
공과대의 경우 VOCs 중 Styrene의 전체 기관 기하평균농도 $13.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.1배인 $14.60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 약간 높게 검출되었으나 중앙도서관보다는 14.6배 높게 나타났다. 수질환경실험실, 분자면역학실, 빗물이용연구센터 등에서 전체 기관 평균농도보다 약간 높게 검출되었다.

(마) 전체 기관 Benzene 기하평균농도

이번 조사에서 조사대상 기관의 VOCs 중 Benzene

의 전체 기관 기하평균농도 $7.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 으로 대부분의 기관에서 낮게 검출되었지만, 공과대 고도산화 및 광화학반응공정연구실, 색채공학연구실, 미술대 판화실 기실에서는 중앙도서관보다는 약 70~200배 정도 높게 검출되었다.

전체 기관 VOCs 중 Benzene 평균농도는 다음 [그림 2-11], [표 2-11]과 같다.



[그림 2-11] 전체 기관 Benzene 기하평균농도

[표 2-11] 전체 기관 Benzene 기하평균농도 측정결과(n=2)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

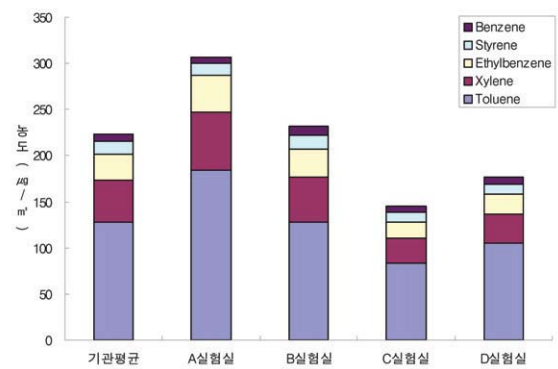
기 관	Benzene	기 관	Benzene
기하평균	7.79	의과대	6.75
자연대	5.78	치과대	6.99
공과대	8.80	보건대	7.46
농생대	10.11	환경대	6.44
미술대	11.64	기기원	10.50
생활대	10.30	반공연	7.95
수의대	8.20	천연물	13.23
약학대	6.08	중앙도서관	-

나) 실험실험특성별 VOCs 농도

전체기관의 실험실험특성별 VOCs 농도는 서울대학교 이공계(미대포함) 1,346개 실험실 중에서 조사대상인 A 실험실인 미생물 및 동물, 방사선동위원소 물질 등을 사용하는 40개(3%) 실험실, B 실험실인 화학약품 등을 사용하는 57개(4%) 실험실, C 실험실인 기계·전기설비 등을 사용하는 21개(2%) 실험실, D 실험실 실험·실습을 수행하지 않는 설계·컴퓨터 관련 등의

17개(1%) 실험실 등이 있다.

조사대상 15개 기관 137개 실험실을 대상으로 실험실험특성별 VOCs인 Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, Benzene 등 5종을 측정된 Data결과 실험실험특성별 VOCs 기하평균농도는 다음 [그림 2-12]와 [표 2-12] 같이 나타났다.



[그림 2-12] 실험실험특성별 VOCs 기하평균농도

[표 2-12] 실험실험특성별 VOCs 기하평균농도 측정결과(n=2)

(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

실험실	Toluene	Xylene	Ethyl Benzene	Styrene	Benzene	합 계
기하평균	128.15	45.69	28.17	13.56	7.79	223.36
A	183.18	63.02	38.47	13.11	7.01	304.47
B	126.52	48.82	29.77	15.77	9.34	230.22
C	78.68	24.49	16.32	11.14	6.34	136.97
D	103.33	36.22	21.60	11.69	6.69	179.53

위에서 나타난 전체기관의 실험실험특성별 검출된 VOCs 기하평균농도는 $223.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 검출되었고, 실험실험특성별 중에서 미생물 및 동물, 방사선동위원소 물질 등을 사용하는 A 실험실과 유기용매 및 화학약품 등을 가장 많이 사용하는 B, C, D 순으로 VOCs 농도가 검출되었다. 검출된 VOCs 중 가장 높은 농도는 Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, Benzene 순으로 검출되었다.

A 실험실의 경우 전체 조사대상 137개 실험실 중 미생물 및 동물, 방사선동위원소 물질 등을 사용하는 실험실 중 40개(29%) 실험실을 측정된 결과 전체기관 실험실험특성별 VOCs 기하평균농도 $223.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다

1.4배인 304.47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 높게 나타났고, 기계·전기를 사용하는 C 실험실보다 2.1배 높게 검출되었다.

그밖에도 Hexane, Methylene Chloride, Methyl isocyanide, Ethyl Alcohol Chloroform, Heptane 등 기타 VOCs가 검출되었다. 기관별로는 특히 의과대, 농생대, 수의대 실험실에서 높게 검출되었다.

원인은 실험실 특성상 실험실내 화학약품사용·보관과 폐수 등으로 또한, 조사 시 A 실험실내 페인트 공사와 수도공사 등으로 접착제 사용으로 인해서 전체적으로 환기가 원활히 이루어지지 않아 농도가 높게 나타났다고 사료된다.

B 실험실의 경우 전체 조사대상 137개 실험실 중 화학약품 등을 사용하는 57개(47%) 실험실을 측정하고 결과 전체기관 실험실특성별 VOCs 기하평균농도는 223.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 약간 높게 나타났고, 가장 적게 측정된 기계·전기를 사용하는 C 실험실보다 1.7배 높게 검출되었다.

그밖에도 Hexane, Ethyl Acetate, Methylene Chloride, Acetonitrile, Tetrahydrofuran(THF) 등 기타 VOCs가 검출되었다. 기관별로는 수의대, 미술대, 의과대, 공과대, 약학대 등의 순서로 높게 나타났다.

이러한 원인은 B 실험실 특성상 화학과 추출시험을 많이 하는 관계로 유기용매 사용량이 많았는데 실험 시에 원활한 자연 및 강제 환기가 이루어지지 않아 높은 농도결과가 나타났다.

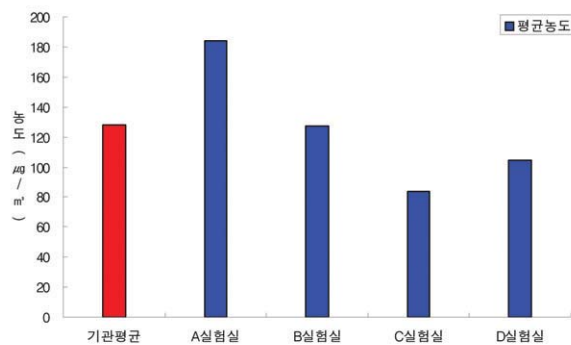
C 실험실의 경우 전체 조사대상 137개 실험실 중 기계·전기설비 등을 사용하는 21개(15%) 실험실을 측정하고 결과 전체기관 실험실특성별 VOCs 기하평균농도 223.36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 검출되었다.

그밖에도 Hexane, Cyclohexane, Chloroform, Pentane, Acetonitrile, 등 기타 VOCs가 검출되었다. 기관별로는 공과대, 자연대 등의 순서로 높게 나타났다.

(1) 실험실특성별 VOCs 중 발암성 위험화학물질 (5개 항목) 기하평균농도

(가) 실험실특성별 Toluene 기하평균농도

이번 조사에서 A 실험실의 조사대상 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.4배인 183.18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었고, C 실험실보다 2.2배 높게 검출되었다. 실험실특성별 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도는 다음 [그림 2-13], [표 2-13]과 같다.



[그림 2-13] 실험실특성별 Toluene 기하평균농도

[표 2-13] 실험실특성별 Toluene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

실험실	Toluene
기하평균	128.15
A	183.18
B	126.52
C	78.68
D	103.33

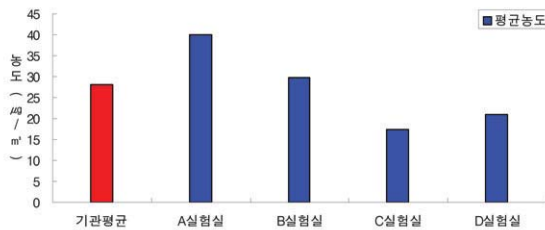
더불어 의과대 분자유전학실험실, 세포생리학실, 상피세포분화실험실 농생대 미생물 생물공학연구실, 식물균병학연구실 등에서 실험실특성별 전체기하평균농도보다 18.6~40.5배까지 높게 검출되었다.

C 실험실의 조사대상 VOCs 중 Toluene의 기하평균농도 128.15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 검출되었다.

(나) 실험실특성별 Xylene 기하평균농도

이번 조사에서 A 실험실의 경우 조사대상 VOCs 중 Xylene의 실험실특성별 기하평균농도 45.69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 1.4배인 63.02 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, C 실험실보다는 2.6배 높게 나타났다. 조사대상 실험

실 57개 중 25개(44%) 실험실에서 실험실험특성별 전체평균농도보다 1.1~221배까지 높게 검출되었다. 실험실험특성별 VOCs 중 Xylene의 기하평균농도는 다음 [그림 2-14], [표 2-14]과 같다.



[그림 2-14] 실험실분류별 Xylene 기하평균농도

[표 2-14] 실험실험특성별 Xylene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: μg/m³)

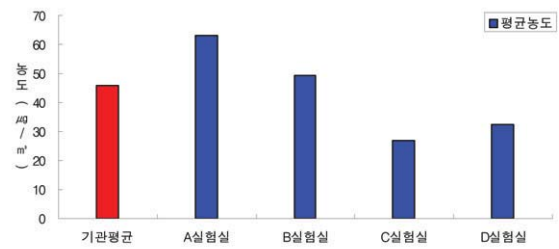
실험실	Xylene
기하평균	45.69
A	63.02
B	48.82
C	24.49
D	36.22

C 실험실의 경우 조사대상 VOCs 중 Xylene의 기하평균농도 45.69 μg/m³ 보다 낮은 24.49 μg/m³로 검출되었다. 공과대 음향 및 진동연구실에서 기하평균농도보다 2.4배 높게 검출되었다.

휘발성 유기화합물질 중 Xylene의 TWA(Time Weighted Average) 노출기준은 435 mg/m³이하로 규정되어 있다(노동부 산업안전보건법). 실험실험특성에 관계없이 Xylene 측정치는 기준치 이하로 검출되었다. 실험실험특성별 Xylene의 유기화합물질의 장시간 동안 많이 노출하면 호흡기도, 눈, 피부를 자극하고 흡인위험이 있고 중추신경계통 등을 억제하는 부작용이 발생할 위험이 있으므로 실험 시 반드시 개인호흡보호장비를 구비하여 착용하고 실험에 임해야하며 건강관리에 주의가 요망된다.

(다) 실험실험특성별 Ethylbenzene 기하평균농도

실험실험특성별 VOCs 중 Ethyl Benzene의 기하평균농도는 [그림 2-15], [표 2-15]과 같다.



[그림 2-15] 조사대상 실험실험특성별 Ethylbenzene 기하평균농도

[표 2-15] 실험실험특성별 Ethylbenzene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: μg/m³)

실험실	Ethylbenzene
기하평균	28.17
A	38.47
B	29.77
C	16.32
D	21.60

이번 조사에서 A 실험실의 경우 VOCs 중 Ethyl Benzene 기하평균농도 28.17 μg/m³보다 1.4배인 38.47 μg/m³로 가장 높게 검출되었으며, C 실험실보다는 2.4배 높게 나타났다. 조사대상 41개 실험실 중 19개(46%) 실험실에서 실험실험분류별 기하평균농도보다 1.1~61.7배까지 높게 검출되었다. 의과대 분자유전학 실험실, 세포생리학실 농생대는 미생물생물공학공학연구실, 식물균병학연구실 등에서 높게 검출되었다.

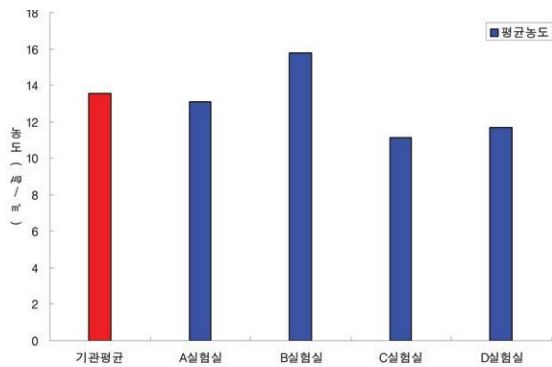
B 실험실의 경우 Ethylbenzene 기하평균농도 28.17 μg/m³보다 약간 많은 29.77 μg/m³로 검출되었으며, C 실험실보다는 1.8배 높게 나타났다. 의과대 임상약리학실에서 실험실험특성별 기하평균농도 28.17 μg/m³보다 73배인 2,060 μg/m³까지 상당히 높게 검출되었고, 의과대 환경성발암기전연구실, 유전자의학연구실 그리고 수의대 암실에서 높게 검출되었다.

C 실험실의 경우 Ethylbenzene 기하평균농도 28.17 μg/m³보다 낮은 16.32 μg/m³로 검출되었다. 공과대 원자로설계공학실에서 기하평균농도보다 2배 정도 높게 검출되었다.

(라) 실험실험특성별 Styrene 기하평균농도

이번 조사에서 B 실험실의 경우 VOCs 중 Styrene

실험실특성별 기하평균농도 $13.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.2배인 $15.66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, C 실험실보다는 1.4배 높게 나타났다. 공과대 수질환경실험실에서 기하평균농도보다 5.5배인 $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 가장 높게 검출되었고 미술대 판화실기실, 치과대 공동실험실 등에서 기하평균보다 조금 높게 검출되었다. 실험실특성별 VOCs 중 Styrene 기하평균농도는 다음 [그림 2-16], [표 2-16]과 같다.



[그림 2-16] 실험실특성별 Styrene 기하평균농도

[표 2-16]. 실험실특성별 Styrene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

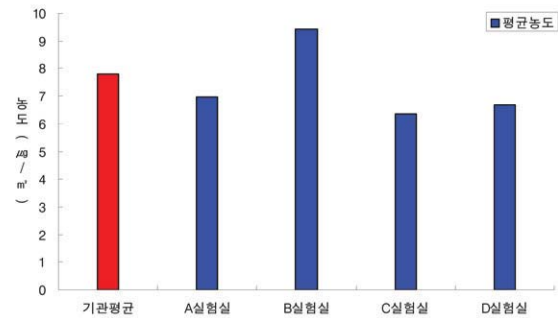
실험실	Styrene
기하평균	13.56
A	13.11
B	15.66
C	11.14
D	11.69

C 실험실의 경우 VOCs 중 Styrene의 전체기관 기하평균농도 $13.56 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 $11.14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었으며, 공과대 빗물이용연구센터에서 기관별 전체평균농도보다 약간 높게 $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 검출되었다.

(마) 실험실특성별 Benzene 농도

이번조사에서 B 실험실의 경우 VOCs 중 Benzene 실험실특성별 기하평균농도 $7.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 1.2배인 $9.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 가장 높게 검출되었으며, C 실험실보다는 1.5배 높게 나타났다. 공과대 고도산화 및 광화학반응공정연구실에서 기하평균농도보다 25.9배인 $202 \mu\text{g}/\text{m}^3$

로 가장 높게 검출되었고 색채공학연구실 자연대 초분자나노재료실험실 등에서 실험실특성별 기하평균보다 높게 검출되었다. 실험실특성별 VOCs 중 Benzene 기하평균농도는 다음 [그림 2-17], [표 2-17]과 같다.



[그림 2-17] 조사대상 실험실특성별 Benzene 기하평균농도

[표 2-17] 실험실특성별 Benzene 기하평균농도 측정결과(n=2)
(단위: $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

실험실	Benzene
기하평균	7.79
A	7.01
B	9.34
C	6.34
D	6.69

C 실험실의 경우 VOCs 중 Benzene의 전체기관 기하평균농도 $7.79 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮은 $6.34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었으며, 공과대 플라즈마 및 양자빔공학실험실에서 기관별 전체평균농도보다 3.9배 높은 $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다.

제3장 결론 및 제언

3-1. 결 론

현재 우리나라에서 실험실내 공기중 오염물질에 대한 법적인 허용기준이나 관리기준이 따로 제정되어 있지 않다. 이는 대부분의 선진국에서도 마찬가지이다. 학교보건법상의 관리기준이나 다중이용시설 등의 실내공기질 관리법에서 관리하는 오염물질의 발생은 주로 외기에 의하거나 건축자재, 또는 이용자의 활동 등으로 발생하는데 비해, 실험실은 이에 더하여 실험

에 사용되는 원료, 공정, 부산물 등에 기인하기 때문에 더 다양하고, 농도가 높을 수 있다.

우리나라 실험실에 적용할 수 있는 기준은 다양한 기준을 고려할 수 있으나 법적인 책임한계를 설정한다면 노동부의 산업안전보건에서 제정한 노출기준을 적용하는 것이 타당하다. 그러나 분명히 실험실의 작업특성은 일반 제조업체와 다르므로 법적인 기준의 준수뿐 아니라 가능한 한 노출농도를 줄이도록 하여야 한다.

본 조사 결과, 산업안전보건법(노동부)의 화학물질 노출기준과 비교할 경우 미세먼지(PM10)는 11개 실험실(8%)이 기준을 초과하였고, 측정한 5가지 항목의 휘발성유기화합물질(VOCs) (Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene)은 측정대상 전체실험실에서 모두 기준치 이하로 나타났다.

측정된 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 호흡성분진인 미세먼지(PM10) 농도는 조사대상 실험실 137개 중에서 126개(92%) 실험실이 노동부 산업안전보건법의 실내공기질기준치인 $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 보다 낮게 나타났으며, 11개(8%) 실험실은 기준치를 1 ~ 2.6배($151 \sim 388 \mu\text{g}/\text{m}^3$) 초과한 것으로 조사되었다. 실험실특성별 분류에서는 B, A, C, D 실험실 순서로 높게 검출되었다.

대부분의 실험실이 연구공간과 실험공간이 분리되지 않아서 실험실에서 배출되는 유해물질에 연구자가 오염될 우려가 높았다. 미세먼지 농도는 외부요인과 재실인원이 많을수록 높은 수준으로 나타났으나, 일부 실험실에서는 실험실내용에 따라 상대적으로 높은 수준으로 나타난 곳도 있었다. 따라서 이러한 실험이 오랜기간 지속된다면 보다 높은 농도의 미세먼지에 노출될 가능성도 있을 것으로 판단된다.

2. 포름알데히드의 관리기준은 산업안전보건법의 실내공기질 관리법에서 $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이하로 규정하고 있는데, 이번 조사결과 전체실험실의 포름알데히드 기하평균농도는 규정농도보다 낮게 나타났다. 실험실 특성별 분류에서는 D, A, B, C 실험실 순서로 검출되었다.

3. VOCs의 경우 전체 조사대상 실험실의 기하평균 농도는 $223.36 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 로 검출되었다. 실험실특성별 분류에서는 A, B, D, C 실험실 순서로 높게 검출되었다. 검출되는 VOCs농도는 Toluene, Xylene, Ethylbenzene, Styrene, Benzene 순으로 검출되었고, 그밖에 Acetonitrile, Methylene Chloride, Hexane, Ethyl Acetate, Trichloroethylene 등이 검출되었다.

기관별로는 의과대의 실험실이 가장 높은 농도인 $1,342.26 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 이, 다음으로는 미술대 $587.72 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 농생대 $404.52 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 수의대 $311.71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 치과대 $263.00 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 순서로 검출되었으며, 그밖에 기관은 기하평균농도보다 낮은 보건대 $221.49 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 자연대 $187.07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 중앙도서관 $175.51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 등의 기하평균농도를 보였다.

실험실내의 VOCs 중에 Benzene, Toluene, Ethylbenzene, Xylene, Styrene 등과 그외 다른 개별 VOCs가 검출되었고, 실험실내 환경에 영향을 미치는 다양한 종류의 유기화합물(약 70여 종)도 검출되었다. 실험실특성별 분류 중 A, B 실험실에서 실험특성에 따라 특정 화학물질의 농도는 산업현장의 작업장 노출기준과 비슷한 수준까지 높게 나타남을 알 수 있었다.

개선사항으로 실험실내의 쾌적한 실내공기유지를 위해 창문을 열거나 환풍기를 가동시켜 실내공기를 환기시켜야 하고, 중앙공조장치가 설치된 건물은 급, 배기구의 조절을 통해 환기가 원활히 되도록 하며, 유해 화학물질실험은 반드시 후드 내에서 수행하여야 한다. 무엇보다도 실험실내공기오염물질의 발생 원인을 제거하고, 실험실내 공기오염물 기준치 마련을 위한 연구가 지속적으로 이루어져야 한다고 사료된다.

3-2. 제 언

1. 쾌적하고 건강한 실내공기환경의 확보를 위한 관리대책

- 학내 실험실의 대부분이 공간부족으로 연구실과 실험실을 구분 없이 사용하고 있는데 칸막이 등을 설치하여 별도공간으로 구분하여 실험자의 건강을 확보해야 한다.

- 실험실내 모든 화학물질은 최소화의 재고량만을 유지하되 다량의 유기용매를 보관·사용하는 실험실에서는 외부에 별도의 시약 보관장소에 보관하고, 필요시 적정량만을 사용할 수 있도록 각 기관별로 별도의 시약저장고 설치와 관리가 요망된다.
- 실험실내 폐수의 증기가 비산되지 않도록 뚜껑은 반드시 막고 보관중인 폐수는 적정 보관량만 보유하고 2/3 정도 채워진 통은 기관별 지정날짜에 배출하여 실험실내 공기오염원을 최소한 줄인다.

2. 실험실내 공기 중 유해물질 측정 및 기준의 방향 제시

무엇보다도 장기적인 측면에서 실험실내공기오염물질의 발생원인과 오염발생 물질의 제거에 관한 체계적인 연구가 이루어져야 할 것이다.

3. 실험실의 유해·위험에 대한 정보제공

실험실에서 주로 취급하거나 노출될 수 있는 유해인자에 대한 유해위험성 및 관리기법에 대한 정보 제공

4. 실험실내공기질 안전보건 여건 조성

실험실내공기질을 청결하게 유지하기 위해서는 연구원 각각의 노력뿐 아니라 대학 및 기타 관련 연구소 등이 실험실내 환경을 깨끗하게 하고자 각자 맡은 바 책임을 다하고 다각적인 협동 체제를 구축해야 한다.

5. 환경안전원의 향후 계획

향후 환경안전원에서는 실험실내 공기오염도를 매년 지속적으로 조사 측정할 예정이며, 또한 공기오염도를 측정하고 싶은 기관이나 연구·실험실에서는 신청이나 접수를 통해 계속 측정하여 실험실내 환경진단과 연구원들의 건강에 기여하고, 환기설비의 개선이 필요 하다고 판단될 경우 관계기관 등과 연계하여 개선하며, 실험실내 미세먼지나 기타 휘발성 유기화합물 등에 오염되지 않도록 근본적인 대책 방안을 마련할 수 있도록 최선을 다한다.